

PENGARUH WAKTU PERENDAMAN DAN PENAMBAHAN KONSENTRASI NaCl (PPM) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA LATERIT

Eka Febriyanti^{1,*}, Amin Suhadi², Johny Wahyuadi³

^{1,2}Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi PUSPIPTEK,
Serpong, 16314, Indonesia

²Departemen Teknik Metalurgi dan Material, UI Depok

*E-mail : eka.febriyanti@bppt.go.id

Diterima: 17-08-2017

Direvisi: 05-11-2017

Disetujui: 01-12-2017

ABSTRAK

Bahan baku baja karbon selama ini kebanyakan berasal dari biji besi hematit. Kurangnya tersediaan bahan baku bijih besi ini di Indonesia mendorong perusahaan besi baja untuk membuat baja karbon dari mineral laterit yang tersebar di Indonesia dengan kandungan Fe cukup tinggi sekitar 50%. Baja laterit masih diproduksi terbatas dan belum banyak diaplikasikan. Salah satu contoh baja laterit adalah sebagai material atap jembatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan NaCl (ppm) terhadap laju korosi baja karbon dari bijih besi laterit pada lingkungan air danau. Komposisi baja laterit adalah terdapat elemen tambahan Ni dan Cr sehingga baja laterit digolongkan sebagai baja paduan rendah (*low alloy steel*). Pengujian laju korosi menggunakan metode *weight loss* dimana material paduan direndam dalam air danau selama 48, 72, 120, dan 168 jam dengan 3 variasi penambahan NaCl, yaitu 200, 300, dan 400 ppm. Dari hasil pengujian *weight loss* menunjukkan bahwa laju korosi meningkat berkisar dari 2.9 mpy s/d 3.2 mpy.

Kata kunci : Baja laterit, laju korosi, NaCl, waktu perendaman

ABSTRACT

Most of carbon steel are produced from hematite iron ore. The decreasing of hematite iron ore in Indonesia, encouraged iron and steel company to produced carbon steel from laterite mineral, which has high deposit in Indonesia with high grade iron (50% Fe). One of the application of laterite steel as material rooftop bridge. The objective of this research to observe the influence of NaCl increasing to corrosion rate of carbon steel from laterite iron ore on lake water environment. Chemical composition of laterite steel is adding of element such as Cr and Ni, which classified laterite steel into low alloy steel and may effected corrosion behaviour of these steel. Corrosion rate measurement are conducted by weight loss method, which laterite steel immersed in lake water with time period 48, 72, 120, and 168 hour at NaCl adding 200, 300, and 400 ppm. From weight loss testing shows that corrosion rate of laterite steel increase about from 2.9 mpy until 3.2 mpy.

Keywords : Laterite steel, corrosion rate, NaCl, immersed time

PENDAHULUAN

Baja merupakan material yang banyak digunakan, karena murah, mudah dibentuk, sifat *machinability* yang baik serta dapat dilas. Selama ini, sebagian besar baja didapatkan dari pengolahan bijih besi *hematite* dan *magnetite* karena kandungan besi yang tinggi ($\text{Fe} > 70\%$).

Saat ini industri besi baja di Indonesia masih mengimpor bahan baku dari negara lain. Makin langkanya bijih besi ini, menuntut untuk mencari alternative bahan baku lain. Salah satu bahan baku alternatif yang banyak dilirik adalah mineral *laterite* dengan Fe cukup tinggi.

Mineral laterit biasanya tersebar pada daerah khatulistiwa seperti Indonesia, dan biasa digunakan sebagai bahan baku nikel [1].

Saat ini industri besi baja di Indonesia masih mengimpor bahan baku dari negara lain. Oleh karena kurangnya deposit bijih besi hematit di Indonesia, maka laterit dengan kadar Fe yang cukup tinggi merupakan sumber bahan baku alternatif besi dan baja domestic yang cukup menarik. Mineral *laterite* yang terdapat di Indonesia mempunyai kandungan sekitar 50% Fe dan beberapa unsur lain seperti Ni, Cr, Al, Si dan Co [1].

Pengembangan pembuatan baja dari mineral *laterite* dan produksinya dilakukan dalam skala kecil dengan pemakaian yang masih terbatas. Salah satu aplikasinya adalah penggunaan baja tersebut sebagai material atap jembatan yang terbentang diatas sebuah danau.

Karena baja banyak diaplikasikan untuk berbagai macam lingkungan, maka baja tersebut kemungkinan terpapar dengan lingkungan yang bersifat korosif dan berkontribusi besar untuk mengurangi dimensi dan kekuatan dari komponen. Oleh karena itu, perlu diketahui ketahanan baja laterit terhadap lingkungan. Pada aplikasinya sebagai atap jembatan, material baja laterit diindikasikan terkorosi karena dipengaruhi berbagai faktor lingkungan. NaCl merupakan salah satu factor penting yang dapat mempengaruhi ketahanan korosi baja [2,3].

Sedangkan tujuan dari penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh waktu

perendaman (jam) dan penambahan konsentrasi NaCl (ppm) terhadap laju korosi baja laterit.

MATERIAL DAN METODE

Untuk melakukan penelitian perlu dipersiapkan sampel dan larutan uji untuk pemeriksaan dan pengujian.

Persiapan Spesimen dan Larutan Uji

Kedua material yang digunakan sebagai spesimen yaitu baja laterit seperti yang terlihat pada Tabel 1 lalu dipersiapkan berdasarkan standard ASTM G1- 03 *Standard Recommended Practice For Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. Sedangkan larutan uji yang digunakan terbuat dari air danau yang dicampur dengan NaCl sebesar 200, 300, dan 400 ppm di suhu ruang.

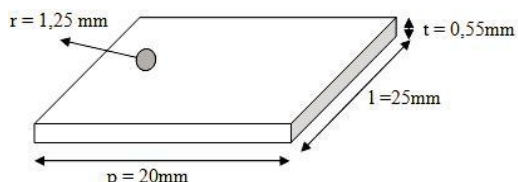
Tabel 1. Komposisi sampel baja laterit

Unsur	Penelitian (% berat)
Fe	99,3
C	0,05
Si	0,01
Mn	0,23
P	0,007
S	0,01
Cr	0,07
Mo	<0,005
Ni	0,1
Al	0,06
Co	0,01
Cu	0,03

Prosedur Pengujian

Sampel baja laterit yang telah disiapkan, digantung dengan tali dan kemudian dicelupkan kedalam air danau yang telah ditambahkan NaCl 200, 300, dan 400 ppm dalam skala laboratorium. Lalu, sampel yang akan digunakan dipotong hingga berbentuk balok dengan dimensi seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Sedangkan volume larutan disesuaikan dengan ASTM G31-72. Berdasarkan ASTM G31-72, volume larutan minimal untuk uji *immersion* adalah 0,4 ml/mm² luas sampel sehingga volume larutan pencelupan minimal untuk baja laterit adalah 415 ml.



Gambar 1. Dimensi sampel baja laterit[4]

Namun, sebelum dilakukan persiapan larutan uji maka dilakukan pengujian korosifitas air menggunakan Hanna apparatus dengan pH meter digital. Tujuan pengujian ini yaitu untuk mengetahui nilai *Langelier Saturation Index* (LSI) seperti yang terlihat pada Gambar 2 (pH meter digital dan pengujian potensial sampel baja hal. 34). Hasil pengujian korosifitas air danau seperti yang terlihat pada Tabel 2 serta volume untuk merendam setiap sampel adalah 500 ml.

Tabel 2. Hasil uji air danau

Unsur	Hasil
pH	7,36
Suhu	27,5°C
Ca	400
(sebagai CaCO ₃)	mg/L (ppm)
Alkalinity	105
(sebagai CaCO ₃)	mg/L (ppm)
Klorida	700
	mg/L (ppm)
TDS	0,08 ppt
	= 0,08 x 10 ⁻³ ppm

Setelah dilakukan persiapan sampel baja laterit, pengujian korosifitas air, dan persiapan larutan uji selanjutnya dilakukan perendaman sampel uji dalam sebuah toples

untuk pengujian kehilangan berat (*weight loss*) seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Toples plastik untuk perendaman sampel [4]

Karena pada lingkungan air danau kadar NaCl sebesar 700 ppm maka untuk mempercepat reaksi korosif pada pengujian laboratorium ditambahkan NaCl sebesar 200, 300, dan 400 ppm. Lalu, material baja laterit tersebut direndam dalam toples plastik tertutup dimana pada satu toples direndam 1 sampel dengan jenis yang sama dan waktu perendaman yang sama. Waktu perendaman dilakukan selama 48, 72, 120, dan 168 jam untuk setiap variasi konsentrasi NaCl yang berbeda. Dari perubahan berat yang terjadi pada material baja laterit sebelum dan setelah dicelup, maka dapat dihitung laju korosinya menggunakan metode *weight loss*, sesuai dengan ASTM G 31-72.

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \quad (1)$$

dimana : K = Konstanta, W = Kehilangan Berat (gram), D = Massa Jenis (g/cm³), A = Luas permukaan yang direndam (cm²), T = Waktu (Jam)

Dengan berat jenis baja laterit 7,85 gr/cm³. Pada penelitian ini satuan laju korosi yang digunakan adalah *mills per year* (mpy), sehingga konstanta yang digunakan adalah 3,45 x 10⁶.

Selain laju korosi, juga dilakukan pengujian visual untuk mengamati karat yang terbentuk pada permukaan sampel dan pengamatan struktur mikro untuk mengamati

morfologi dari spesimen setelah dilakukan perendaman.

Pengamatan metalografi ini bertujuan untuk melihat morfologi dan struktur mikro material baja laterit. Dalam pengamatan ini digunakan standar ASTM E3 – 01. “*Standard Guide for Preparation for Metallographic Specimens*”[5]. Pertama-tama, sampel dipotong untuk mempermudah proses pengujian metalografi. Lalu sampel dipasang pada blok polimer untuk memudahkan dalam proses pengamplasan dan pemolesan. Kemudian, sampel diampelas dengan kertas amplas dimulai dari grit #80, #200, #400, #600, #800, #1000, #1200, #1500 (dalam *mesh*). Proses pengamplasan dilakukan dengan mengubah arah pengamplasan setiap pergantian tingkat kekerasan kertas amplas, sehingga bisa dipastikan sisa pengamplasan sebelumnya telah hilang dan didapat permukaan benda uji yang halus. Selanjutnya, sampel dipoles dengan ditambahkan pasta kovac sampai mengkilap. Setelah itu, sampel dietsa dengan zat etsa Nital 3%. Terakhir dilakukan pengamatan sampel di mikroskop mdengan perbesaran 100x, 200x, dan 500x menggunakan mikroskop optik pada Gambar 4.

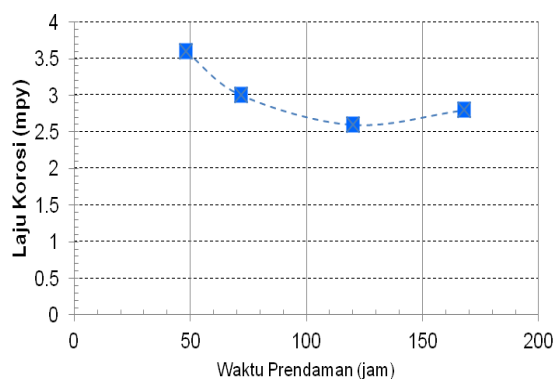


Gambar 4. Mikroskop optik

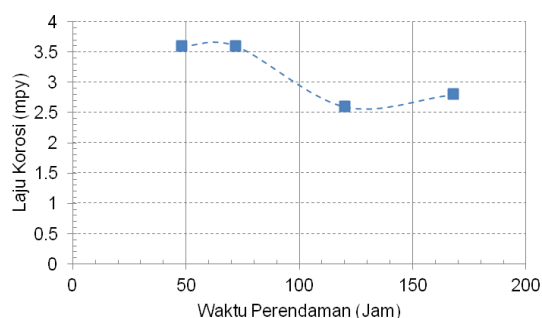
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan visual dilakukan untuk melihat karakteristik lapisan yang terbentuk pada permukaan baja laterit. Hasil pengamatan visual didapatkan bahwa semakin lama waktu perendaman dengan penambahan NaCl yang semakin banyak membuat endapan yang terbentuk pada permukaan baja semakin sedikit. Dengan semakin lama waktu perendaman memungkinkan baja untuk lebih banyak terkorosi sehingga menghasilkan produk korosi (endapan karat) lebih banyak di permukaan sampel. Namun, dengan penambahan NaCl membuat endapan karat tersebut semakin mudah rontok. Adanya produk korosi di permukaan sampel dapat mengurangi proses korosi di permukaan baja karena lapisan karat tersebut berfungsi sebagai penahan difusi yang dapat menurunkan laju reduksi oksigen terlarut. Akan tetapi, dengan semakin meningkatnya garam yang terlarut (NaCl), kemungkinan terbentuknya scale yang stabil menjadi turun.

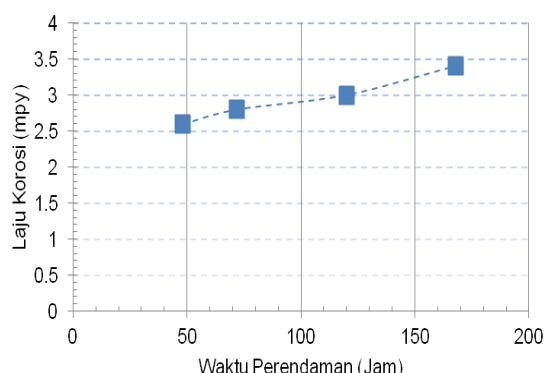
Hal tersebut dapat dilihat bahwa pada penambahan NaCl 200 ppm seperti yang terlihat pada Gambar 5, 300 ppm seperti yang terlihat pada Gambar 6, dan 400 ppm seperti yang terlihat pada Gambar 7, dengan semakin meningkatnya waktu perendaman menunjukkan bahwa laju korosi kedua baja menurun s/d titik tertentu lalu meningkat kembali disebabkan karena scale yang stabil semakin menurun dengan waktu perendaman.



Gambar 5. Pengaruh waktu perendaman (jam) terhadap laju korosi (mpy) pada larutan NaCl 200 ppm



Gambar 6. Pengaruh waktu perendaman (jam) terhadap laju korosi (mpy) pada larutan NaCl 300 ppm



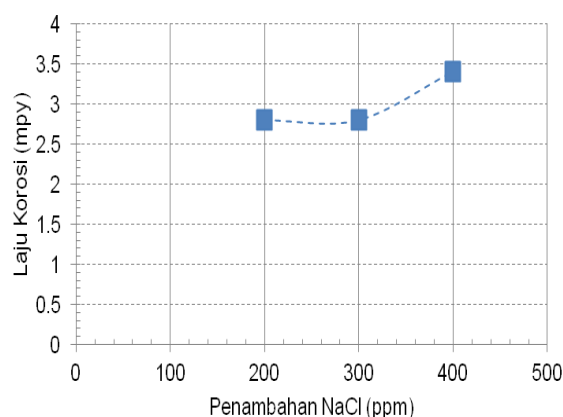
Gambar 7. Pengaruh waktu perendaman (jam) terhadap laju korosi (mpy) pada larutan NaCl 400 ppm

Selain itu, A. Dhanapal [6] juga menyatakan bahwa paduan magnesium AZ61 yang dilakukan *friction stir welding*, ketahanan korosi meningkat seiring dengan bertambahnya periode perendaman. Resistivitas korosi berlaku dengan peningkatan waktu perendaman, menghasilkan pembentukan lapisan hidroksida sebagai faktor dominan untuk mencegah korosi lebih lanjut.

Yameng Qi, dkk [7] menyatakan bahwa dengan peningkatan waktu perendaman lapisan korosi semakin tebal dan rapat. Lagipula, hasil pengukuran elektrokimia menunjukkan bahwa ketahanan lapisan korosi dan ketahanan transfer daya meningkat dengan bertambahnya waktu perendaman. Ketahanan transport yang tinggi pada ion-ion merupakan faktor utama yang menghasilkan penurunan kandungan hidrogen setelah 240 jam perendaman.

Wang Lei, dkk [8] Dengan waktu perendaman yang lama pada lasan paduan Mg

yang disemprot dengan larutan NaCl berpH 5 serta konsentrasi ion klorida 0,6 M dengan perbedaan waktu penyemprotan 2,62 jam, 5 jam, dan 7,38 jam menunjukkan bahwa produk korosi awal menghalangi media korosi dan memberikan perlindungan terhadap logam dasar. Selain itu, terjadi pelarutan Magnesium dan evolusi hidrogen, nilai pH pada larutan akan meningkat yang disebut dengan basifikasi. Basifikasi seharusnya menguntungkan pembentukan lapisan pasif yang dapat melindungi paduan. Produk korosi yang tidak terlarut pada permukaan paduan bisa memperlambat laju korosi.



Gambar 8. Pengaruh penambahan NaCl (ppm) terhadap laju korosi (mpy)

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka dengan peningkatan kadar NaCl, endapan pada permukaan baja laterit semakin sedikit dan laju korosinya semakin meningkat dengan penambahan NaCl. Kadar NaCl yang semakin tinggi membuat ketebalan deposit baja laterit menurun seperti yang terlihat pada Gambar 8.

Osaralube, dkk [9] menyatakan bahwa bahwa dengan semakin bertambahnya waktu perendaman maka laju korosi cenderung menurun akibat adanya pasivasi yaitu pembentukan produk korosi di permukaan. Namun, dikarenakan bertambahnya garam yang terlarut, misalnya NaCl maka produk korosi menjadi kurang stabil sehingga dapat meningkatkan laju korosi.

Ion Cl^- merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi laju korosi suatu material. Kecepatan *dissolution anodic*

baja menjadi ion-ionnya sebanding dengan peningkatan NaCl. Hal ini menyebabkan laju korosi dari baja tersebut semakin besar. Namun, setelah melewati titik NaCl maksimum, laju korosi baja *laterite* semakin menurun karena konsentrasi oksigen di larutan semakin menurun[10]. Kadar oksigen yang ada berperan dalam mengomsumsi elektron yang dihasilkan logam besi, sehingga reaksi korosi terjadi. Jadi, semakin sedikitnya konsentrasi oksigen walaupun laju difusi meningkat dapat membatasi laju korosi[4].

Prof. Yunping Xi, dkk [9] menyatakan bahwa ion-ion seperti Cl^- tidak bereaksi secara kimia dengan logam. Ion Cl^- hanya berperan sebagai katalis pada proses elektrokimia. Dengan adanya ion ini, maka dapat mempercepat reaksi *anodic* sehingga pembentukan produk korosi di permukaan baja lebih cepat. Jadi, adanya ion Cl^- di larutan berperan dalam memindahkan kation pada anoda logam sehingga menghasilkan endapan yang mudah terlarut di permukaan.

Adanya ion Cl^- maka dapat mencegah pembentukan fasa oksida di permukaan logam [10]. Selain itu, adanya ion Cl^- juga menyebabkan korosifitas medium/elektrolit meningkat. Namun, pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi logam tidak selalu mengikuti pola uniform dengan peningkatan/penurunan konsentrasi NaCl.

A. Dhanapal [6] menyatakan bahwa pada material paduan magnesium AZ61A yang dilakukan *friction stir welding* terkorosi serius dengan peningkatan konsentrasi Cl^- . Hal ini menunjukkan bahwa ion klorida mendorong terjadinya korosi dengan meningkatkan laju korosi.

G. Song, dkk [11] menyatakan bahwa logam yang dilakukan *friction stir welding* menunjukkan peningkatan laju korosi dengan penambahan konsentrasi klorida dan hingga perubahan konsentrasi klorida mempengaruhi laju korosi lebih banyak dalam konsentrasi larutan yang lebih tinggi dibandingkan dalam konsentrasi larutan yang lebih rendah. Ketika kandungan klorida berlebih dalam larutan NaCl mendorong terjadinya korosi, korosif menengah (Cl^-) akan ditransfer secara cepat melalui lapisan terluar dan mencapai substrat

permukaan paduan. Oleh karena itu, laju korosi meningkat.

Pada penelitian ini peningkatan kadar NaCl, endapan pada permukaan baja laterit semakin sedikit dan laju korosinya semakin meningkat dengan penambahan NaCl. Hal tersebut diindikasikan karena hasil analisa komposisi kimia seperti yang terlihat pada Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat beberapa kandungan unsur seperti Cr, Co, Cu, Ni yaitu masing-masing (% berat) 0,07; 0,01; 0,03; dan 0,1.

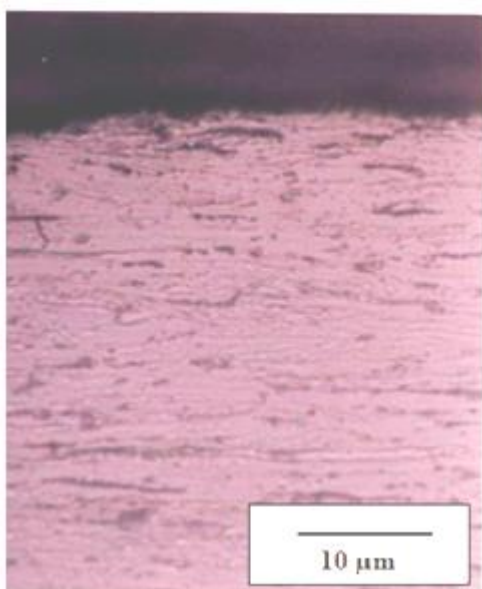
Choi, YS, dkk [12] dalam jurnalnya menyatakan bahwa *weathering steel* (dengan kandungan minimal 0,6%Cr, 0,15%Ni dan 0,4%Cu) dalam lingkungan terendam larutan asam klorida menghasilkan lapisan karat yang terbentuk pada kedua jenis baja terutama mengandung *hematite* (Fe_2O_3) dan *magnetite* (Fe_3O_4). Akan tetapi pada lapisan karat *weathering steel* terdapat kromium oksida (CrO) dan *cupric oxide* (Cu_2O_3). Dari hasil SEM, lapisan karat yang terbentuk pada *weathering steel* berbentuk seragam, melekat dan *continuous structure*.

García K.E, dkk [13] meneliti pada lingkungan HCl, *weathering steel* (0,48%Cr, 0,47 Cu dan 0,03% Ni) mempunyai ketahanan korosi 30% lebih baik dari baja karbon. Pada lingkungan ini hanya 21% baja yang terkorosi yang berubah menjadi karat yang melekat, sekitar 45 – 47% produk korosi hilang dan sekitar 31 – 34% ion logam tidak berubah menjadi produk korosi. Karat yang dihasilkan adalah magnetit, dimana *magnetite* yang terbentuk pada *weathering steel* menunjukkan rentang stoikiometri yang lebih luas dari pada *magnetite* di baja karbon, yang diakibatkan elemen paduan pada *weathering steel*.

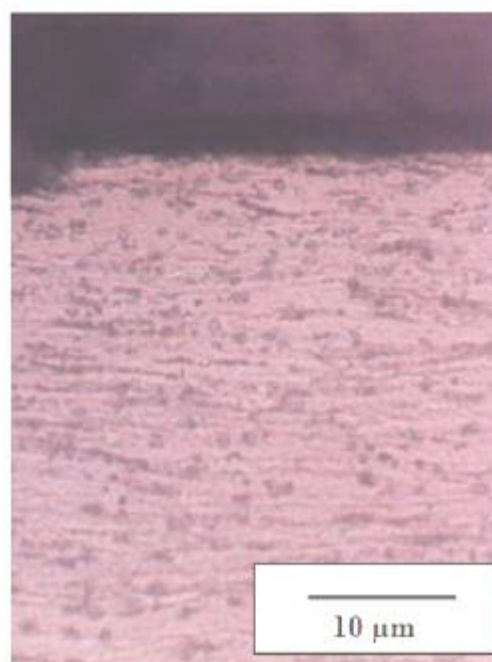
Jika dilihat dari analisa komposisi kimia maka pada baja laterit mengandung tambahan sedikit kandungan Ni dan Cr sehingga baja laterit dapat dikelompokkan menjadi baja paduan rendah (low alloy steel). Adanya elemen tambahan pada baja laterit ini dapat mempengaruhi ketahanan korosi pada baja laterit. Cheng FY, dkk [14] menyimpulkan bahwa adanya sedikit kandungan Cr dapat mempengaruhi ketahanan korosi baja paduan rendah dalam air, dan semakin meningkatnya

kandungan Cr, dapat menurunkan laju korosi dari baja dalam air. Begitu juga menurut Choi YS, dkk [15], baja dengan kandungan sedikit Cr, Ni dan Cu mempunyai ketahanan korosi yang lebih baik dari baja karbon biasa.

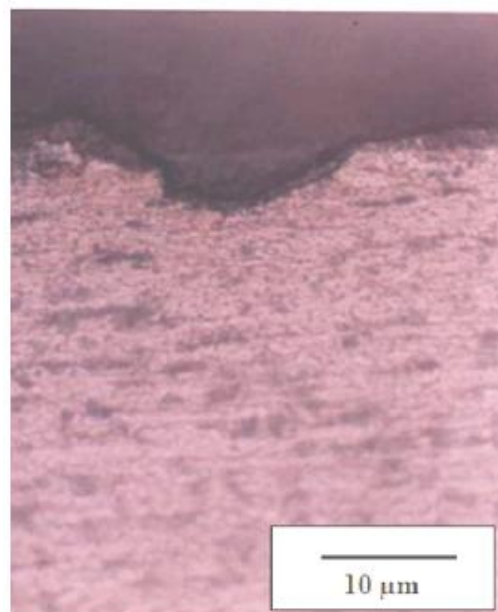
Jadi, element tambahan, terutama kromium yang ada pada baja laterit sangat mempengaruhi ketahanan baja terhadap korosi, walaupun kandungan Cr yang sangat rendah pada baja laterit menyebabkan tidak terbentuknya lapisan Cr_2O_3 pada permukaan, tetapi kandungan Cr yang sedikit ini dapat membentuk lapisan karat yang partikelnya lebih halus dan rapat, sehingga dapat meningkatkan ketahanan korosi dari baja laterit walaupun tidak signifikan. Pengaruh elemen tambahan dibuktikan dari pengamatan struktur mikro seperti yang terlihat pada Gambar 9 s/d Gambar 11.



Gambar 9. Mikrostruktur baja laterit setelah 168 jam perendaman pada larutan rendam dengan penambahan 200 ppm NaCl. Etsa : nital 3%















Gambar 10. Mikrostruktur baja laterit setelah 168 jam perendaman pada larutan rendam dengan penambahan 300 ppm NaCl. Etsa : nital 3%



Gambar 11. Mikrostruktur baja laterit setelah 168 jam perendaman pada larutan rendam dengan penambahan 400 ppm NaCl. Etsa : nital 3%

Tabel 3. Sampel baja laterit setelah perendaman di air danau pada suhu ruang

	48 jam (2 hari)	72 jam (3 hari)	120 jam (5 hari)	168 jam (7 hari)
Penambahan NaCl 200 ppm				
Penambahan NaCl 300 ppm				
Penambahan NaCl 400 ppm				

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut yaitu meningkatnya konsentrasi NaCl (ppm) cenderung meningkatkan laju korosi s/d titik maksimum lalu stabil. Selain itu, pada baja laterite laju korosi dari 2,9 mpy di 200 ppm meningkat mencapai 3,2 mpy di konsentrasi NaCl 300 ppm dan tetap stabil di titik 3,2 mpy pada konsentrasi 400 ppm.

Dengan semakin meningkatnya gara m Na Cl yang terlarut, kemungkinan terbentuknya scale yang stabil menjadi turun. Penambahan Na Cl dapat meningkatkan ketahanan korosi material baja karena produk korosi yang dihasilkan semakin banyak , namun apabila penambahan kadar NaCl melebihi titik jenuh maka produk korosi yang dihasilkan semakin mudah rontok. Hal ini

dapat menurunkan ketahanan korosi material baja laterit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwanto, Hadi, dkk. 2003. "Recovery Nickel from Selectively Reduced Laterite Ore by Sulphuric Acid Leaching". *ISIJ International Journal*, Vol.43, No.2, Hal. 181-186
- [2] ASM Handbook Vol. 13A. 2003. Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection. *American Society of Material Press*
- [3] ASM Speciality Handbook. 1996. Carbon and Alloy Steel. *American Society of Material Press*
- [4] Febriyanti, Eka. 2009."Laju Korosi Baja Laterite dan Baja Hematite terhadap

- Penambahan Konsentrasi NaCl (ppm)". *Majalah Ilmiah : Material, Komponen, dan Konstruksi*. Vol. 9. No.2. Hal.94-103
- [5] ASTM E3-01. 2012. Standard Guide for Preparation for Metallographic Specimens. *American Standard for Testing Materials Press*
- [6] Dhanapal A., dkk. 2012. "Influence of pH Value, Chloride Ion Concentration, and Immersion Time on Corrosion Rate of Friction Stir Welded AZ61A Magnesium Alloy Weldments". *Journal of Alloys and Compound*. Vol. 523. Hal 49-60
- [7] Qi, Yameng, dkk. 2013. "Effect of Immersion Time on The Hydrogen Content and Tensile Properties of A350LF2 Steel Exposed to Hydrogen Sulphide Environments". *Corrosion Science*. Vol. 69. Al. 169-174
- [8] Wang, Lei, dkk. 2010. "Corrosion Behaviour of AZ91 Magnesium Alloy in Dilute NaCl Solutions". *Materials and Design*. Vol. 31. Hal. 857-863
- [9] Osaralube, dkk. 2008. "Corrosion Behaviour of Mild and High Steel in Various Acidic Media". *Scientific Research and Essay Academic Journals*. Hal. 224
- [10] Liu, J., dkk. 2005. "Study of Cavitation Corrosion Behaviours and Mechanism of Carbon Steel in Neutral Sodium Chloride Aqueous Solution". *Proquest Science Journal*. Vol. 61. Issue 11. Hal. 1061-1070
- [11] Song, G. dan A.Atrens. 2003. "Understanding Magnesium Corrosion : Framework for Improved Alloy Performance". *Advanced Engineerin Materials*. Vol. 50. Issue 12. Hal. 837-858
- [12] Y.S., Choi, dan Kim JG. 2000. "Aqueous Corrosion Behaviour of Weathering Steel and Carbon Steel in Acid Chloride Environment". *Proquest Science Journal*. Hal.1202
- [13] Garci'a, K.E., dkk. 2005. "New Contributions to The Understanding of A Rust Layer Formation in Steels Exposed to A Total Immersion Test". *Elsevier Ltd*.
- [14] Cheng, Y.F. 2004. " Corrosion of Carbon Steels in High-Temperature Water Studied by Electrochemical Techniques". *Elsevier*
- [15] Y.S., Choi, dkk. 2005. "Effects of Chromium, Cobalt, Copper, Nickel, and Calcium on The Corrosion Behaviour of Low Carbon Steel in Synthetic Ground Water". *Proquest Science Journals*. Hal. 490